

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Atsushi OHKUBO, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HERewith

FOR: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND LASER MODULE USING SAME

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

☒ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number PCT/JP02/09818, filed September 25, 2002, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.

☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):

<u>Application No.</u>	<u>Date Filed</u>
------------------------	-------------------

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY

Japan

APPLICATION NUMBER

2001-303438

MONTH/DAY/YEAR

September 28, 2001

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

☒ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

☐ were filed in prior application Serial No. filed

☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number

Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and

☐ (B) Application Serial No.(s)

☐ are submitted herewith

☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Bradley D. Lytle

Registration No. 40,073

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)
BDL:fb1

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2001年 9月28日

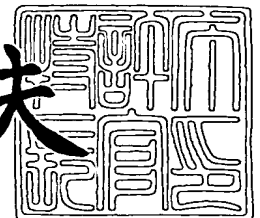
出 願 番 号
Application Number: 特願2001-303438
[ST. 10/C]: [JP2001-303438]

出 願 人
Applicant(s): 三井化学株式会社
古河電気工業株式会社

2004年 2月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 A10516

【提出日】 平成13年 9月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/025

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県袖ヶ浦市長浦 5 8 0 番地 3 2 三井化学株式会社
内

【氏名】 大久保 敦

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県袖ヶ浦市長浦 5 8 0 番地 3 2 三井化学株式会社
内

【氏名】 岡田 知

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県袖ヶ浦市長浦 5 8 0 番地 3 2 三井化学株式会社
内

【氏名】 藤本 毅

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県袖ヶ浦市長浦 5 8 0 番地 3 2 三井化学株式会社
内

【氏名】 小磯 武

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県袖ヶ浦市長浦 5 8 0 番地 3 2 三井化学株式会社
内

【氏名】 室 清文

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株
式会社内

【氏名】 大久保 典雄

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 大木 泰

【特許出願人】

【識別番号】 000005887

【氏名又は名称】 三井化学株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100090022

【弁理士】

【氏名又は名称】 長門 侃二

【電話番号】 03-3459-7521

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007537

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高出力半導体レーザ素子、それを用いたレーザモジュール

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 量子井戸構造から成る活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子であって、戻り光の作用により安定化した波長のレーザ光を発振し、その発振スペクトルがマルチモードであることを特徴とする高出力半導体レーザ素子。

【請求項 2】 前記戻り光は、ファイバブラッググレーティングからの戻り光である請求項 1 の高出力半導体レーザ素子。

【請求項 3】 井戸層 1 層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層 1 層の厚みを d (nm) としたとき、 Γ と d の間には、次式：

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{nm}^{-1}$$

で示される関係が成立している請求項 1 または 2 の高出力半導体レーザ素子。

【請求項 4】 前記井戸層の 1 層の厚みは 8.5 nm 以上である請求項 3 の高出力半導体レーザ素子。

【請求項 5】 障壁層の伝導帯のバンドギャップエネルギーと井戸層の伝導帯のバンドギャップエネルギーの差が 170 meV 以下になっている請求項 1～4 のいずれかの高出力半導体レーザ素子。

【請求項 6】 前記活性層内の障壁層が、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (x は 0 以上 0.1 未満の数を表す) で形成されている請求項 1～5 のいずれかの高出力半導体レーザ素子。

【請求項 7】 前記活性層の両側に光閉じ込め層が形成されていて、前記活性層と前記光閉じ込め層の間には、前記活性層の障壁層と前記光閉じ込め層のそれぞれの伝導帯におけるバンドギャップエネルギーよりも大きいバンドギャップエネルギーを有するキャリアブロック層が介装されている請求項 1～6 のいずれかの高出力半導体レーザ素子。

【請求項 8】 前記活性層の両側には、前記活性層の障壁層の伝導帯におけるバンドギャップエネルギー以上のバンドギャップエネルギーを有する分離閉じ込め層が形成されている請求項 1～6 のいずれかの高出力半導体レーザ素子。

【請求項 9】 発振波長が 900～1100nm である請求項 1～8 のいずれかの高出力半導体レーザ素子。

【請求項 10】 請求項 1～9 のいずれかの高出力半導体レーザ素子の出射端面に光ファイバが光結合されていることを特徴とするレーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はファブリ・ペロー型の高出力半導体レーザ素子とそれを用いて組み立てられたレーザモジュールに関し、更に詳しくは、戻り光を受けて動作することにより、その発振スペクトルがマルチモードであるレーザ光を発振する高出力半導体レーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexing: WDM) 通信方式が複数の信号光を伝送する光通信システムとして発展している。このシステムでは、光線路の所定箇所に例えば E r ドープ光ファイバ増幅器 (E D F A) を配置し、ここに半導体レーザ素子を励起用光源とするポンピングレーザモジュールを接続し、このレーザモジュールから励起用レーザ光を前記 E D F A に入射して、信号光源から伝送されてきた信号光を光増幅することにより、光増幅した信号光を再び下流側へ伝送する。

【0003】

その場合、レーザモジュールに組み込まれている半導体レーザ素子に対しては、信号光源の光出力の変動に追随して注入電流値を変化させることにより、レーザモジュールから出射する励起用レーザ光の光出力が安定化するような処置が採られている。

発振波長が 1480nm 波長域にある半導体レーザ素子の場合には E D F A における利得帯域が広いので上記したような処置は有効である。しかしながら、発振波長が 980nm 波長域にある半導体レーザ素子の場合には、E D F A における利得帯域が狭いので、上記したような処置を採用することはできない。

【0 0 0 4】

このようなことから、発振波長が980nm波長域における半導体レーザ素子を用いてレーザモジュールを組み立てる場合には、組み立てたレーザモジュールから出射する励起用レーザ光の波長を、EDFAの狭い利得帯域に対応できる波長に特定することが必要になる。

レーザ素子からの発振波長の安定化に関しては、例えば、当該レーザ素子の出射端面（前端面）に、所定の反射帯域幅を有するファイバブラッググレーティング（Fiber Bragg Grating：FBG）を光結合して動作させることが知られている。FBGは、波長選択機能と光帰還機能を備えているからである。

【0 0 0 5】

この場合、レーザ素子から出射したレーザ光のうち特定波長帯域の部分がFBGで反射して戻り光となり、この戻り光が再びレーザ素子に帰還する。そして、この戻り光の作用によりレーザ素子から発振するレーザ光の波長、したがってレーザモジュールから出射していく励起用レーザ光の波長は、FBGの反射帯域幅内に特定された値で安定化する。

【0 0 0 6】

しかしながら、発振波長が980nm波長域にある代表的な半導体レーザ素子であるGaAs系レーザ素子の場合、FBGと光結合させてレーザモジュールを組み立てると、得られる励起用レーザ光の波長はFBGの反射帯域幅内に存在するとはいえ、その励起用レーザ光の光出力の時間的な変動は大きく、不安定な光出力状態を呈する。例えば、レーザ素子への注入電流が変動したり、または周辺温度が変化するなどして駆動状態の変化が起こっても、レーザモジュールから出射してくる励起用レーザ光の光出力は不安定化する。

【0 0 0 7】

これは、GaAs系レーザ素子の場合、発振縦モードが不安定になりやすく、その光出力は数%のオーダーで変動しやすいからであると考えられる。

レーザモジュールから出射する励起用レーザ光における光出力の変動は、通常、0.5%以下におさめることが規格化されていることを考えると、上記した問題は不都合である。

【0008】

したがって、出射する励起用レーザ光が安定化していて、同時に光出力も安定化しているレーザモジュールを組み立てる場合には、それに光源として組み込まれるレーザ素子から発振するレーザ光は、その発振波長が特定波長で安定化しているとともに、その発振縦モードがマルチモード化していることが必要であると考えられる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、GaAs系レーザ素子における上記した問題を解決し、レーザモジュールに光源として組み込んだときに、そのレーザモジュールからは、光出力が安定している励起用レーザ光の出射を可能にするように設計されているGaAs系の高出力半導体レーザ素子と、それを用いたレーザモジュールの提供を目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記した目的を達成するために、本発明においては、

量子井戸構造から成る活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子であって、戻り光の作用により安定化した波長のレーザ光を発振し、その発振スペクトルがマルチモードであることを特徴とする高出力半導体レーザ素子が提供される。

【0011】

具体的には、前記戻り光は、FBGからの戻り光であり、また、井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) としたとき、 Γ と d の間には、次式：

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{nm}^{-1}$$

で示される関係が成立しており、

前記井戸層の1層の厚みは8.5 nm以上であることを好適とする高出力半導体レーザ素子が提供される。

【0012】

そして、前記活性層の両側に光閉じ込め層が形成されていて、前記活性層と前記光閉じ込め層の間には、前記活性層の障壁層と前記光閉じ込め層のそれぞれの伝導帯におけるバンドギャップエネルギーよりも大きいバンドギャップエネルギーを有するキャリアブロック層が介装されていることを好適とするの高出力半導体レーザ素子が提供される。

【0013】

また、本発明においては、上記した高出力半導体レーザ素子の出射端面に光ファイバが光結合されていることを特徴とするレーザモジュールが提供される。

【0014】

【発明の実施の形態】

本発明のレーザ素子は次のような設計思想に基づいて開発されたものである。

(1) まず、出射する励起用レーザ光の光出力が安定しているレーザモジュールに光源として組み込まれるレーザ素子にとって必要とされる条件は次のことである。すなわち、当該レーザ素子からの発振レーザ光の発振波長が安定していることと、同時にその光出力の変動が抑制されていることである。

【0015】

(2) 発振波長の安定化という課題は、例えばレーザ素子とFBGと組み合わせ、そのときの戻り光を再びレーザ素子に帰還させて実現することができる。また、発振レーザ光の光出力の変動を抑制するためには、その発振レーザ光の発振スペクトルがマルチモード化するように設計すればよい。

(3) そして、戻り光が帰還してくるレーザ素子の場合、コヒーレントコラプス現象が発現すれば、当該レーザ素子からの発振レーザ光はマルチモード化することが知られている。

【0016】

(4) したがって、レーザ素子の活性層構造において、上記したコヒーレントコラプス現象が発現しやすくなる因子を見出すことは、発振レーザ光のマルチモード化、すなわち発振レーザ光の光出力の安定化にとって重要であると考えられる。

その場合、従来の活性層構造に関しては、発振したレーザ光を効率よく活性層

内に閉じ込めるという設計思想を主流にしているが、発振レーザ光のマルチモード化を意図した場合には、全く逆に、むしろ発振が起こりづらい活性層構造を設計することが重要であると考えられる。

【0017】

(5) 本発明者らは、この観点に立ち、各種のレーザ素子につき、その井戸層の厚み (d)、その井戸層における光閉じ込め係数 (Γ) と発振レーザ光のマルチモード化との相関関係につき検討を加えたところ、戻り光の帰還を前提にすると、 Γ/d 値がコヒーレントコラプス現象を律速する因子であるとの新たな知見を得るに至った。

【0018】

(6) そして更に研究を重ねた結果、上記したコヒーレントコラプス現象は井戸層の厚みが厚いほど発現しやすく、また、井戸層のポテンシャル深さが浅いほど発現しやすいという事実も見出した。

そして、本発明者らは、以上の知見に基づき、更にレーザ素子を高出力動作させるためには、その共振器長が長い方が有利であるという公知の事実に基づいて、前記した構成の本発明の高出力半導体レーザ素子を開発したのである。

【0019】

次に、上記した設計思想に基づいて開発された本発明のレーザ素子について詳述する。

まず、本発明のレーザ素子の使用形態を図1に概略図として示す。

図1において、後述するレーザ素子Aと光ファイバBは、光結合手段である例えばレンズCを介して互いの光軸を合致させた状態で光結合されている。そして、光ファイバBには、例えば所定の反射帯域幅を有するFBG B₁が形成されている。

【0020】

レーザ素子Aからの発振レーザ光は、レンズCで集光され、光ファイバBの端面に入射する。入射した発振レーザ光のうち、FBG B₁の反射帯域幅内に存在する発振波長のレーザ光のみが当該FBG B₁で反射し、それは戻り光となってレーザ素子Aに帰還する。

そして、本発明においては、レーザ素子Aが次に説明する構成になっているので、当該レーザ素子Aからの発振レーザ光は、その発振波長が安定化しているとともに、その発振スペクトルがマルチモードになる。

【0021】

ここで、好適な層構造を有する本発明のレーザ素子の1例A₁を図2に示す。

このレーザ素子A₁はSAS構造 (Self-aligned structure) になっていて、全体は所定の共振器長 (L) を有するファブリ・ペロー型のレーザ素子である。

このレーザ素子A₁は、図2で示したように、例えばn-GaAsから成る基板1の上に、例えばn-GaAsから成る下部クラッド層2Aが形成され、更にその上に、後述する層構造Dが形成されている。そして、その層構造Dの上に例えばp-AlGaAsから成る上部クラッド層2B、例えばp-GaAsから成るコンタクト層3が順次形成され、基板1の裏面にはn型電極4Aが、コンタクト層3の上にはp型電極4Bがそれぞれ形成された構造になっている。

【0022】

上記した層構造Dは、機能材料vol.17, No.8, pp26~33 (1997年、8月号) において、完全分離閉じ込め構造 (Decoupled Confinement Heterostructure: DCH構造) として提案されている層構造である。

すなわち、層構造Dは、例えばInGaAsから成る2個の井戸層5A₁, 5A₂、および各井戸層の両側に位置して例えばAlGaAsから成る3個の障壁層5B₀, 5B₁, 5B₂で構成されている量子井戸構造の活性層5を有している。

【0023】

そして、活性層5内でその両端に位置している障壁層5B₁, 5B₂のそれぞれ外側には、他の層に比べるとそのバンドギャップエネルギーが大きい後述するキャリアブロッキング層が配置され、更にその外側には、例えばn-GaAsから成る下部光閉じ込め層7Aとp-GaAsから成る上部光閉じ込め層7Bがそれぞれ配置されている。ここで、活性層5内でその両端に位置する障壁層5B₁, 5B₂のことをそれぞれサイド障壁層と呼ぶ。

【0024】

具体的には、サイド障壁層 5 B₁と下部光閉じ込め層 7 Aの間には、例えば n-A l G a A s から成る下部キャリアブロッキング層 6 Aが、サイド障壁層 5 B₂と上部光閉じ込め層 7 Bの間には例えば p-A l G a A s から成る上部キャリアブロッキング層 6 Bがそれぞれ介装されている。

そして、上部光閉じ込め層 7 Bの中（図では厚みの中間の位置）には、例えば n-A l G a A s から成る電流ブロッキング層 8 が形成されていて、p 型電極 4 Bからのキャリアが効率よく活性層 5 に注入できるようになっている。

【0025】

ここで、上記した層構造 D に関するバンド構造図の 1 例を概略図として図 3 に示す。

このようなバンド構造図で示される層構造 D の場合、活性層 5 に注入されたキャリアは両側に位置するキャリアブロッキング層 6 A, 6 B の高いバンドギャップにより外側に拡散することなく効率よく当該活性層 5 の中に閉じ込められてレーザー光の発振に寄与する。そして、発振レーザー光は、全体としてこの D C H 構造に閉じ込められて導波していく。したがって、この D C H 構造において、キャリアブロッキング層 6 A, 6 B の両側に位置する光閉じ込め層 7 A, 7 B は光導波層でもある。

【0026】

以上のような層構造を有する本発明のレーザー素子 A₁において、上記した D C H 構造は次のように設計されている。

(1) まず、井戸層 5 A₁, 5 A₂のそれぞれの厚みをいずれも d (nm) とし、また井戸層 1 個当たりの光閉じ込め係数を Γ としたとき、d 値と Γ 値との間には、次式：

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{nm}^{-1} \quad \dots (1)$$

で示される関係が成立するように設計されている。

この関係が成立しているときにはじめて、後述するように、レーザー素子 A₁への注入電流の全てにおいて、発振レーザー光の発振スペクトルはマルチモード化し、その光出力が時間的に安定化する。

【0027】

(2) また、井戸層 $5A_1$, $5A_2$ の厚み (d) は 8.5 nm 以上に設計されている。厚み (d) が厚くなればなるほど、戻り光とのコヒーレントコラプス現象が発現しやすくなって発振スペクトルはマルチモード化するからである。

しかし、井戸層の厚みの上限は井戸層の形成に用いる半導体材料の臨界膜厚で規定されるが、その臨界膜厚より薄い場合であっても、あまり厚くすると第2量子準位の発振が起こりはじめて発振レーザ光の劣化を招くので、概ね、 12 nm 程度の厚みを上限とすることが好ましい。

この井戸層の厚み (d) を決定すると、それに応じて、井戸層における光閉じ込め係数 (Γ) が (1) 式を満足するような適宜な値として決定され、それに基づいて井戸層の成膜時に用いる半導体材料の種類や組成などが選定される。

【0028】

(3) 更に、層構造Dの活性層5において、図3で示したように、障壁層 $5B_0$ ($5B_1$, $5B_2$) の伝導帯のバンドギャップエネルギーと井戸層 $5A_1$ ($5A_2$) の伝導帯バンドギャップエネルギーの差 (ΔE_c) が 170 meV 以下となるように設計されている。

この ΔE_c 値が小さいほど戻り光とのコヒーレントコラプス現象が発現しやすくなって発振レーザ光の発振スペクトルはマルチモード化する。しかし、 ΔE_c 値が小さすぎると、そもそもが注入キャリアの効率的な再結合は起こらなくなるので、 ΔE_c 値の下限は 95 meV 程度に設定することが好ましい。

【0029】

(4) なお、レーザ素子 A_1 の共振器長 (L) は格別限定されるものではないが、高出力化を意図して、その共振器長 (L) を $1500\text{ }\mu\text{ m}$ 以上に設計することが好ましい。しかし、実際の素子製作上、 $3000\text{ }\mu\text{ m}$ を超える共振器長 (L) のレーザ素子を製作することは、実際問題として困難であるため、共振器長 (L) の上限は $3000\text{ }\mu\text{ m}$ 程度にすることが好ましい。

【0030】

レーザ素子 A_1 の製作に関しては、以上列記した設計項目を満足するように、各層を形成する半導体材料が選定される。

その場合、使用可能な半導体材料としては、例えば、GaAs系、AlGaA

s系、InGaAsP系、InGaAs系などをあげることができ、これら材料の種類、組成、成膜時の厚みを適宜に選定し、上記した各設計項目が充足せしめられる。

【0031】

例えば、活性層5内におけるサイド障壁層 $5B_1$ 、 $5B_2$ として、 $Al_xGa_{1-x}As$ (x は0以上0.1未満の数)を用いると、理由は明確ではないが、発振レーザ光の発振スペクトルのマルチモード化、したがって、光出力の安定化が促進されて好適である。とくに、GaAsでサイド障壁層を形成することが好適である。

【0032】

なお、上記したレーザ素子 A_1 はその層構造DがDCH構造の場合であったが、本発明のレーザ素子はこれに限定されることなく、例えば図4で示した層構造を有するレーザ素子 A_2 であってもよい。

このレーザ素子 A_2 は上部がリッジ導波路形状になっていて、全体は所定の共振器長(L)を有している。そして、例えばn-GaAsから成る基板10の上に、例えばn-AlGaAsから成る下部クラッド層11Aが形成され、更にその上に後述する層構造Eが形成され、基板10の裏面にはn型電極12Aが形成され、前記層構造Eの上面には例えば窒化ケイ素(SiN_x)から成る保護膜13を介してp型電極12Bが形成されている。

【0033】

層構造Eは、例えばInGaAsから成る3個の井戸層 $14A_0$ 、 $14A_1$ 、 $14A_2$ 、および各井戸層の両側に位置して例えばGaAsPから成る4個の障壁層 $14B_1$ 、 $14B_2$ 、 $14B_3$ 、 $14B_4$ で構成されている量子井戸構造の活性層14を有する。

そして、活性層14の両端に位置する障壁層 $14B_1$ 、 $14B_4$ の両側には、例えばAlGaAsから成る下部光閉じ込め層15AとAlGaAsから成る上部光閉じ込め層15Bがそれぞれ配置されている。

【0034】

この層構造Eは分離閉じ込め構造 (Separated Confinement Heterostructure

:SCH構造)と呼ばれるものであって、その伝導帯のバンド構造図の1例を図5に示す。

本発明においては、このSCH構造を有するレーザ素子A₂の場合であっても、そのSCH構造は前記した設計項目を充足するように設計されている。

【0035】

とくに、このレーザ素子A₂の場合は、各井戸層の厚み(d)が発振レーザ光の発振スペクトルのマルチモード化を規定する主たる要因である。具体的には、各井戸層の厚み(d)を厚くすることが、発振スペクトルのマルチモード化にとって有用である。

以上説明したレーザ素子A₁, A₂を用いて本発明のレーザモジュールが組み立てられる。組み立てたレーザモジュールの1例を図6に示す。

【0036】

このレーザモジュールでは、パッケージ20の底板20aの上にレーザ素子A₁(A₂)を冷却するためのペルチェモジュール21が配置され、更にペルチェモジュール21の上には例えばコバルトから成るベース材22が配置されている。

ベース材22の上には、チップキャリア23を介してレーザ素子A₁(A₂)が配置され、このレーザ素子A₁(A₂)と光軸を一致させた状態で、FBG24aを有する光ファイバ24が光結合されている。

【0037】

光ファイバ24はファイバ固定部材25でベース材22の上に固定され、また、その出射端側はパッケージ20の筒状孔部内に気密に取り付けられたスリーブ26を介してパッケージ20から引き出されている。

また、レーザ素子A₁(A₂)の背面側にはフォトダイオード27が配置され、レーザモジュールの光出力の大小をモニタできるようになっている。

【0038】

なお、レーザ素子と光ファイバとの光結合効率を高めるためには、光ファイバとしてその先端がレンズ形状になっているものを用いることが好ましいが、先端がレンズ形状でなくても、途中にレンズを介在させることにより両者間の光結合効率を高めることができる。

また、光ファイバとして楔形光ファイバを用いると、組み立てたレーザモジュールは、光結合効率が高く、また組み立てに要する部品点数も低減し、総合的な製造コストが低減する。

【0039】

このレーザモジュールでは、光源であるレーザ素子 A_1 (A_2) が前記したように設計されているので、F B G 24 a から帰還する戻り光を受けることにより、レーザ素子 A_1 (A_2) の発振レーザ光はその発振波長が安定化しており、かつその発振スペクトルはマルチモード化していて光出力の時間的変動がない。

したがって、このレーザモジュールでは、上記した発振レーザ光が光ファイバ 24 を伝送されているので、その出射光の光出力は非常に安定化している。

【0040】

【実施例】

実施例 1～3、比較例

(1) レーザ素子の構造

D C H 構造を有し、全体として、図 2 で示した層構造のレーザ素子 A_1 を製作した。このときの各層の仕様は表 1 に示したとおりである。なお、共振器長 (L) はいずれも $2100\mu\text{m}$ である。また、いずれのレーザ素子の場合も、前端面の反射率は 2 %、後端面の反射率は 96 % に設定した。

【0041】

【表 1】

レーザ素子の層構造		実施例 1	実施例 2	実施例 3	比較例
基板 1	材 料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs
	厚み(nm)	1×10^5	1×10^5	1×10^5	1×10^5
	材 料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs
	厚み(nm)	2355	2200	2750	900
下部クラッド層 2A	材 料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs
	厚み(nm)	520	470	550	330
	材 料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs
	厚み(nm)	10~1000程度	10~1000程度	10~1000程度	10~1000程度
層構造 D	サイド障壁層 5B ₁	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
	厚み(nm)	55	55	50	55
	井戸層 5A ₁	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs
	厚み(nm)	8.5	10	12	10
	障壁層 5B ₀	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
	厚み(nm)	6	6	6	6
	井戸層 5A ₂	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs
	厚み(nm)	8.5	10	12	10
	サイド障壁層 5B ₂	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
	厚み(nm)	55	55	50	55
	上部キャリアブロック層 6B	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs
	厚み(nm)	10~1000程度	10~1000程度	10~1000程度	10~1000程度
電流プロッキング層 8	上部光閉じ込め層 7B	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs
	厚み(nm) (*)	520	470	550	40
	材 料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs
	厚み(nm)	10~300	10~300	10~300	10~300
上部クラッド層 2B	材 料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs
	厚み(nm)	780	800	820	900
	材 料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs
	厚み(nm)	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3

(*) : 図 2 において、電流プロッキング層を挟む全体の厚み

【0042】

したがって、実施例 1 ~ 3、比較例の各レーザ素子における Γ 値と Γ/d 値は表 2 で示した値となる。

【0043】

【表 2】

	Γ	Γ/d (μm^{-1})
実施例 1	0.00597	1.702
実施例 2	0.00767	0.600
実施例 3	0.00807	0.673
比較例	0.02873	1.429

【0044】

(2) レーザ素子の特性

各レーザ素子を用いて図 6 で示したレーザモジュールを組み立てた。

なお、レーザ素子に光結合された FGB は、反射率 4 %、反射帯域幅 0.5 nm、中心波長 975 nm の波長選択特性を有するように設計されているものである。

【0045】

1. 実施例 2 のレーザ素子が組み込まれているレーザモジュールでレーザ素子の電流-光出力特性を測定した。その結果を図 7 に示した。

図 7 から明らかなように、このレーザ素子は注入電流 800 mA まで極めて安定した状態で高光出力のレーザ光を出射している。

2. つぎに、レーザ素子の注入電流を 5 mA 間隔で増加させていき、その都度、レーザモジュールから光出力 (Pf) とモニタ光強度 (Im) を測定し、その変化率 (%) を算出した。その結果を図 8 に示す。

図 8 から明らかなように、このレーザ素子は、注入電流が変化してもその光出力の変化率は 0.5 % 以下であり、注入電流値に対する光出力の安定性は良好である。

【0046】

3. レーザ素子への注入電流を変化させ、そのときに、素子駆動開始から 5 秒経過した時点における発振レーザ光の発振スペクトルを測定した。その結果を図 9 に示した。

図 9 から明らかなように、このレーザ素子は、注入電流の全ての値において、マルチモードで発振している。そこで、図 9 の発振スペクトルにおいて、そのピーク値から光出力で 10 dB 低い位置におけるスペクトル幅 (nm) を読み取り、そ

れを各注入電流に対してプロットした。その結果を図10に示す。

なお、比較例のレーザ素子についても上記と同様にして発振スペクトルを測定し、同様にして10dB低い位置におけるスペクトル幅を読み取り、それも図10に示した。

【0047】

図10から明らかなように、実施例2のレーザ素子の場合は、注入電流が変化しても上記したスペクトル幅の変動は少なく、マルチモード発振が維持されている。これに反し、比較例のレーザ素子の場合は、そのスペクトル幅が大幅に変動し、しばしばシングルモード発振が現出している。

なお、実施例1, 3のレーザ素子についても同様の試験を行ったところ、ほとんど同じ結果が得られた。

【0048】

実施例4

表1で示したDCH構造を有する実施例2の層構造において、用いる半導体材料の種類、井戸層の厚みを変えることにより Γ/d 値を変化させ、また共振器長(L)も変えて、各種のレーザ素子を製作した。これらのレーザ素子を用いて実施例1~3の場合と同様のレーザモジュールを組み立てた。

【0049】

そして、レーザ素子を発振させてその発振レーザ光の発振スペクトルを測定し、マルチモード化の有無を観察した。そして、図9で示したような発振スペクトルを示したレーザ素子を、共振器長(L)と Γ/d ($\times 10^{-3}\text{nm}^{-1}$)を座標軸とする座標上にプロットした。以上の結果を図11に示した。

図中、●印は図9で示したようにマルチモードで発振してその光出力が安定化しているレーザ素子を示し、また×印は光出力が安定化しないレーザ素子を示している。

【0050】

図11から明らかなように、 Γ/d 値が $1.3 \times 10^{-3}\text{nm}^{-1}$ 以下となるように設計されているレーザ素子は、共振器長(L)の長短に無依存で、いずれも、図9で示したように、マルチモードで発振し、しかもその光出力は安定化している

。このことから、発振スペクトルのマルチモード化、すなわち光出力の安定化を実現するためには、 Γ/d 値を $1.3 \times 10^{-3} \text{nm}^{-1}$ 以下に設定することの有効性が明らかである。

【0051】

実施例 5

(1) レーザ素子の構造

SCH構造を有し、全体として図4で示した層構造のレーザ素子A₂を製作した。このときの各層の仕様は表3に示したとおりである。なお、共振器長(L)はいずれも1500 μmである。また、いずれのレーザ素子の場合も、前端面の反射率は1%、後端面の反射率は92%に設定した。

【0052】

【表 3】

			実施例 5	
基板 1 0			材 料	n - G a A s
			厚み (nm)	1 × 1 0 ⁵
下部クラッド層 1 1 A			材 料	n - A l G a A s
			厚み (nm)	4 × 1 0 ³
層 構 造 E	下部光閉じ込め 層 1 5 A		材 料	n - A l G a A s
			厚み (nm)	5
	活 性 層 1 4	障壁層 1 4 B ₁	材 料	i - G a A s P
			厚み (nm)	5
		井戸層 1 4 A ₁	材 料	i - I n G a A s
			厚み (nm)	9
		障壁層 1 4 B ₂	材 料	i - G a A s P
			厚み (nm)	5
		井戸層 1 4 A ₀	材 料	i - I n G a A s
			厚み (nm)	9
		障壁層 1 4 B ₃	材 料	i - G a A s P
			厚み (nm)	5
	井戸層 1 4 A ₂	材 料	i - I n G a A s	
		厚み (nm)	9	
	障壁層 1 4 B ₄	材 料	i - G a A s P	
		厚み (nm)	5	
上部光閉じ込め 層 1 5 B		材 料	p - A l G a A s	
		厚み (nm)	5	
上部クラッド層 1 1 B			材 料	p - G a A s
			厚み (nm)	2 × 1 0 ³
コンタクト層 1 6			材 料	n - G a A s
			厚み (nm)	0.5 × 1 0 ³

【0053】

このレーザ素子における井戸層の光閉じ込め係数 (Γ) は 0.011 である。
したがって、 Γ/d 値は $1.2 \times 10^{-3} \text{nm}^{-1}$ になっている。
このレーザ素子についても、実施例 4 の場合と同様にマルチモードで発振することを確認することができた。

【0054】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、本発明のレーザ素子は、戻り光の作用で発振波長が安定化し、また井戸層の光閉じ込め係数 (Γ) とその厚み (d) との関係を

、戻り光とコピーレントコラプス現象が発現するように設計しているので、発振レーザ光の発振スペクトルはマルチモード化し、もってその光出力が安定化する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明のレーザ素子の使用形態を示す概略図である。

【図 2】

本発明のレーザ素子の 1 例 A_1 の層構造を示す断面図である。

【図 3】

レーザ素子 A_1 における層構造 D のバンド構造図の 1 例である。

【図 4】

本発明の別のレーザ素子 A_2 の層構造を示す斜視図である。

【図 5】

レーザ素子 A_2 における層構造 E のバンド構造図の 1 例である。

【図 6】

本発明のレーザモジュールの 1 例を示す断面図である。

【図 7】

実施例 2 のレーザ素子の電流－光出力特性図である。

【図 8】

実施例 2 のレーザ素子を組み込んだレーザモジュールの P_f 変化率と I_m 変化率を示すグラフである。

【図 9】

各注入電流における発振スペクトル図である。

【図 10】

図 9 の発振スペクトル図から誘導された注入電流とスペクトル幅との関係を示すグラフである。

【図 11】

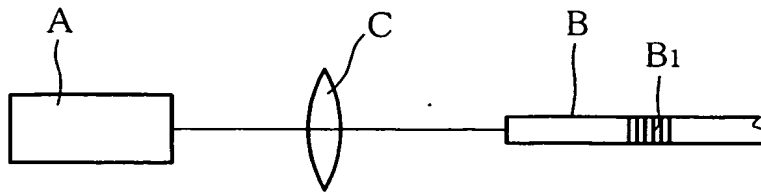
各種のマルチモード発振したレーザ素子を、共振器長と Γ/d との座標上にプロットしたグラフである。

【符号の説明】

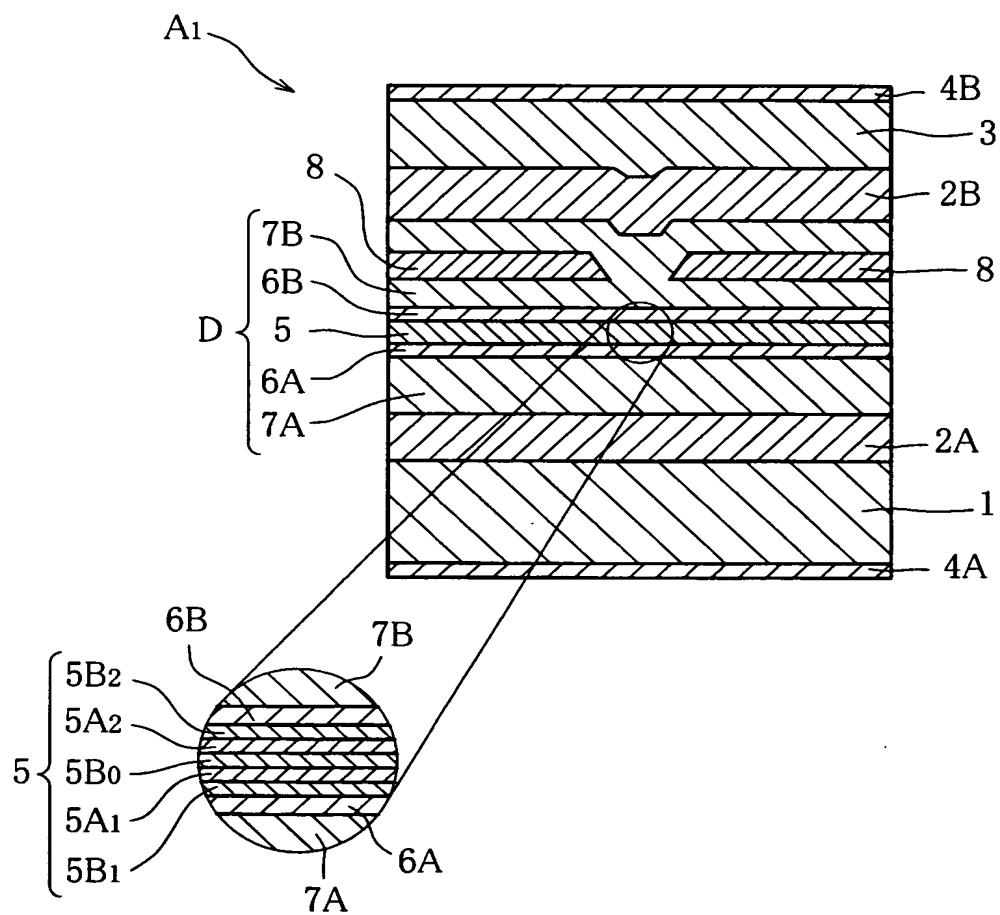
1	基板
2 A	下部クラッド層
2 B	上部クラッド層
3	コンタクト層
4 A	n 型電極
4 B	p 型電極
5	活性層
5 A ₁ , 5 A ₂	井戸層
5 B ₀	障壁層
5 B ₁ , 5 B ₂	サイド障壁層
6 A	下部キャリアブロック層
6 B	上部キャリアブロック層
7 A	下部光閉じ込め層
7 B	上部光閉じ込め層
8	電流ブロッキング層
2 0	パッケージ
2 1	ペルチェモジュール
2 2	ベース材
2 3	チップキャリア
2 4	光ファイバ
2 4 a	F B G
2 5	ファイバ固定材
2 6	スリーブ
2 7	フォトダイオード

【書類名】 図面

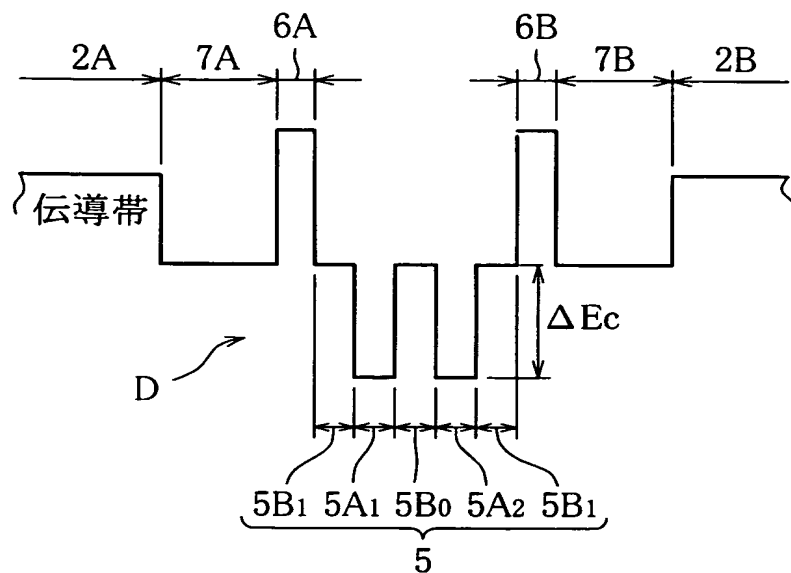
【図 1】



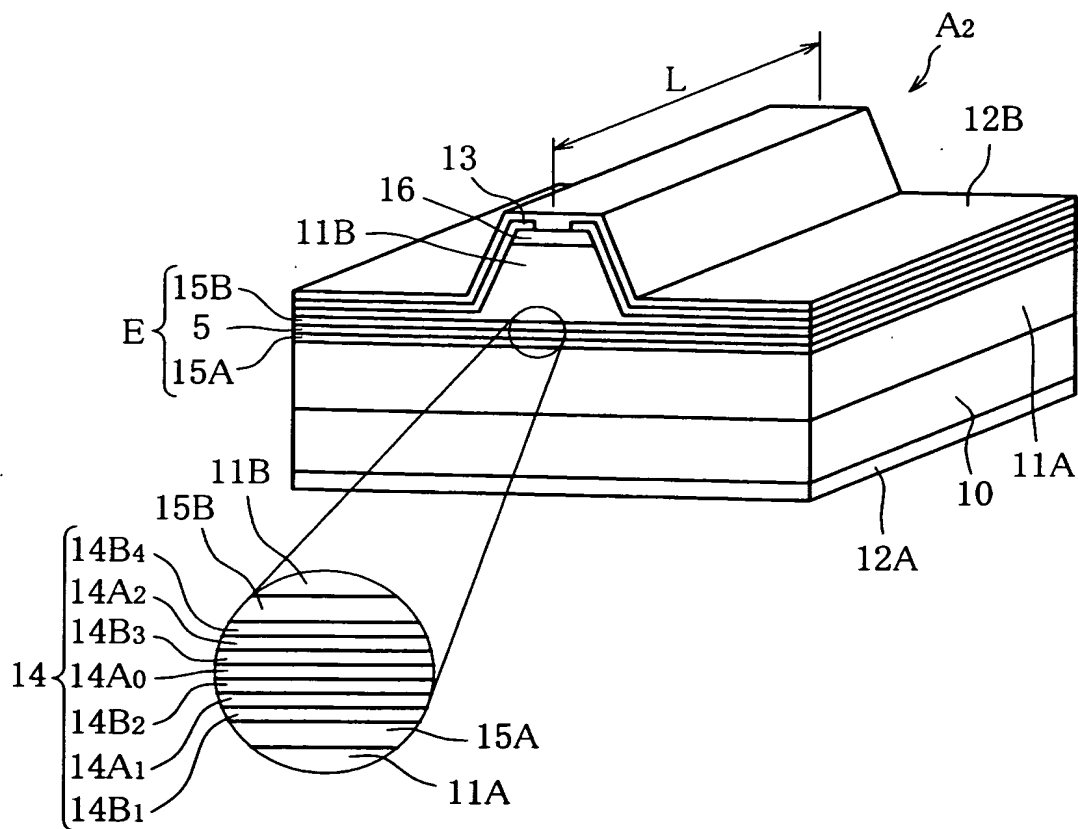
【図 2】



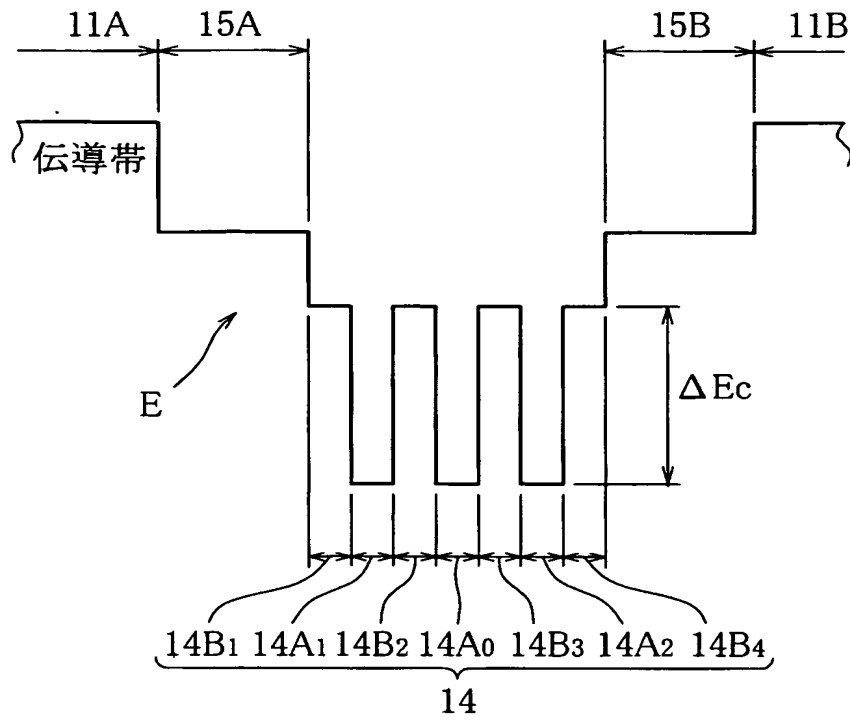
【図 3】



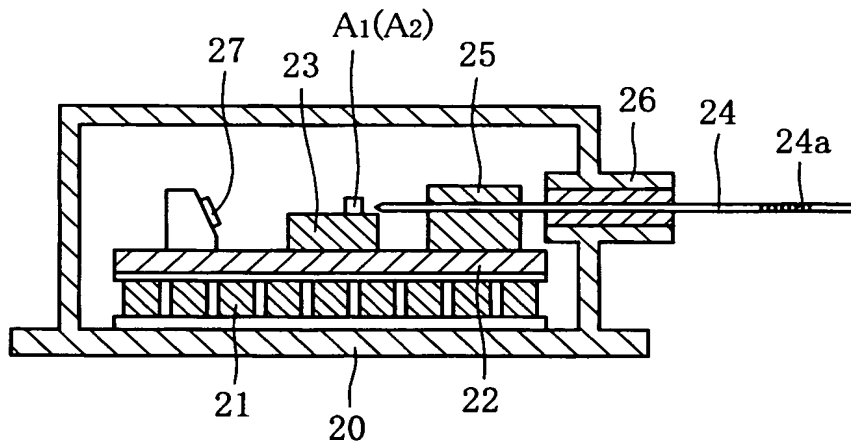
【図 4】



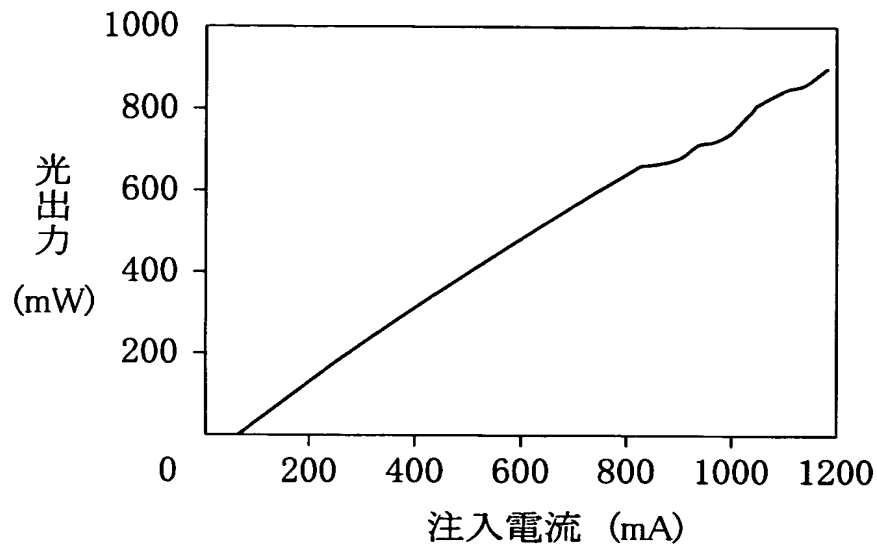
【図 5】



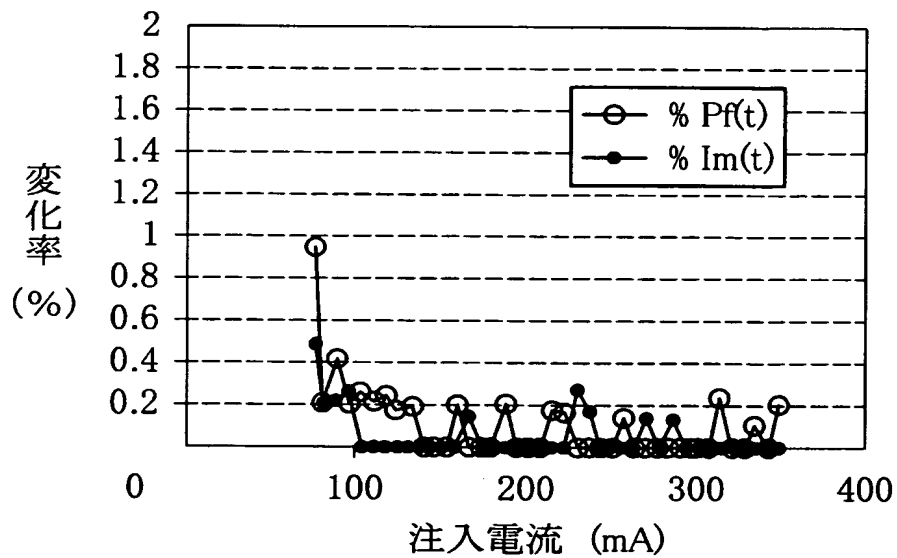
【図 6】



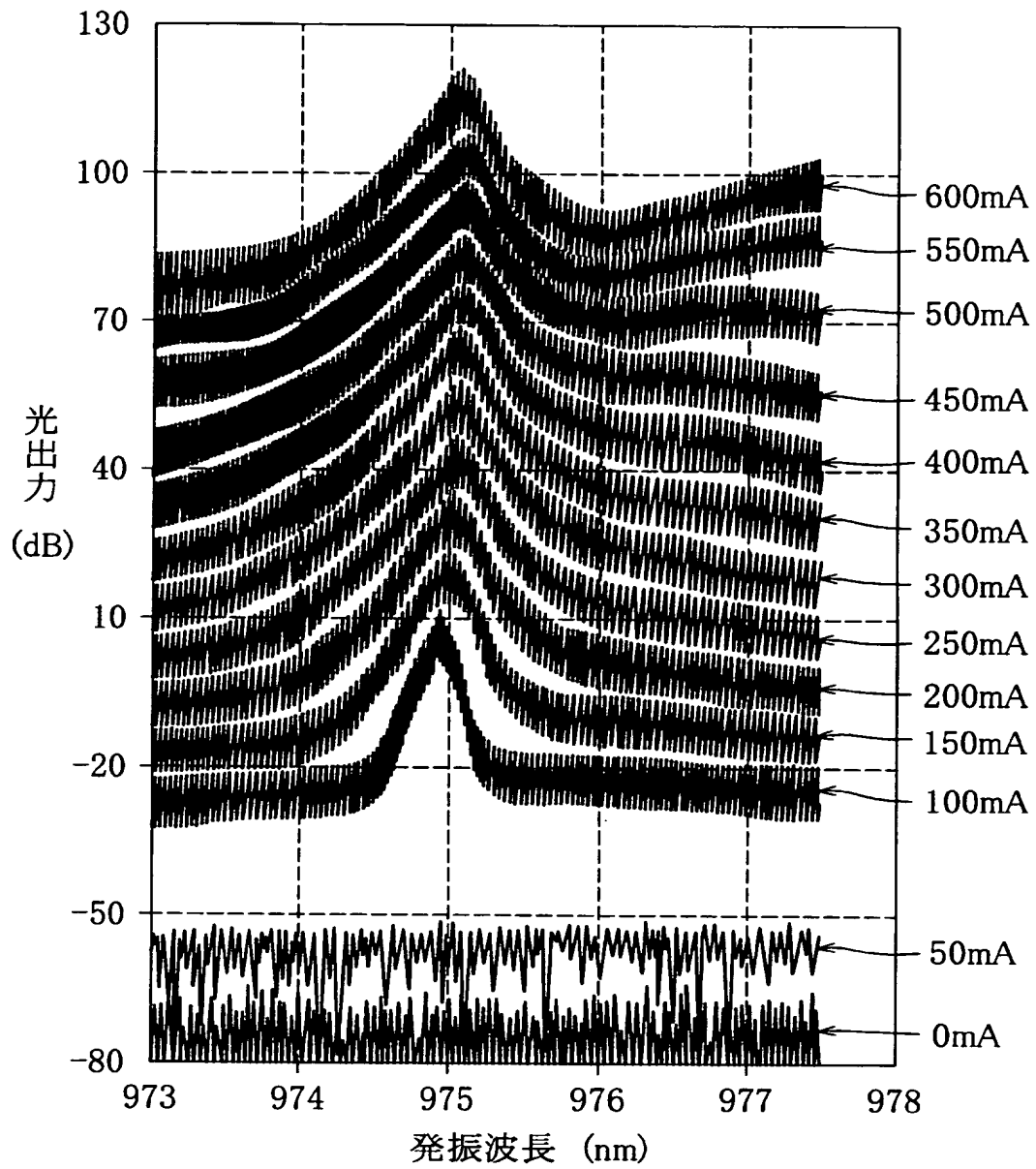
【図 7】



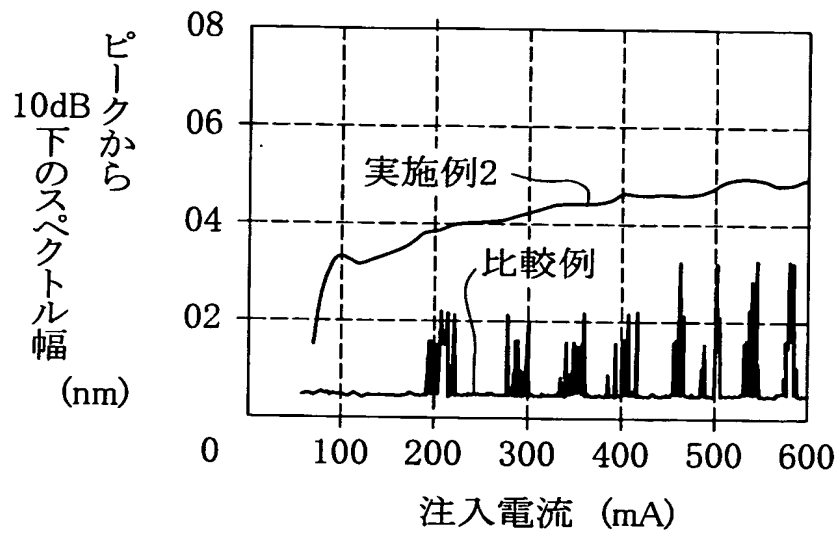
【図 8】



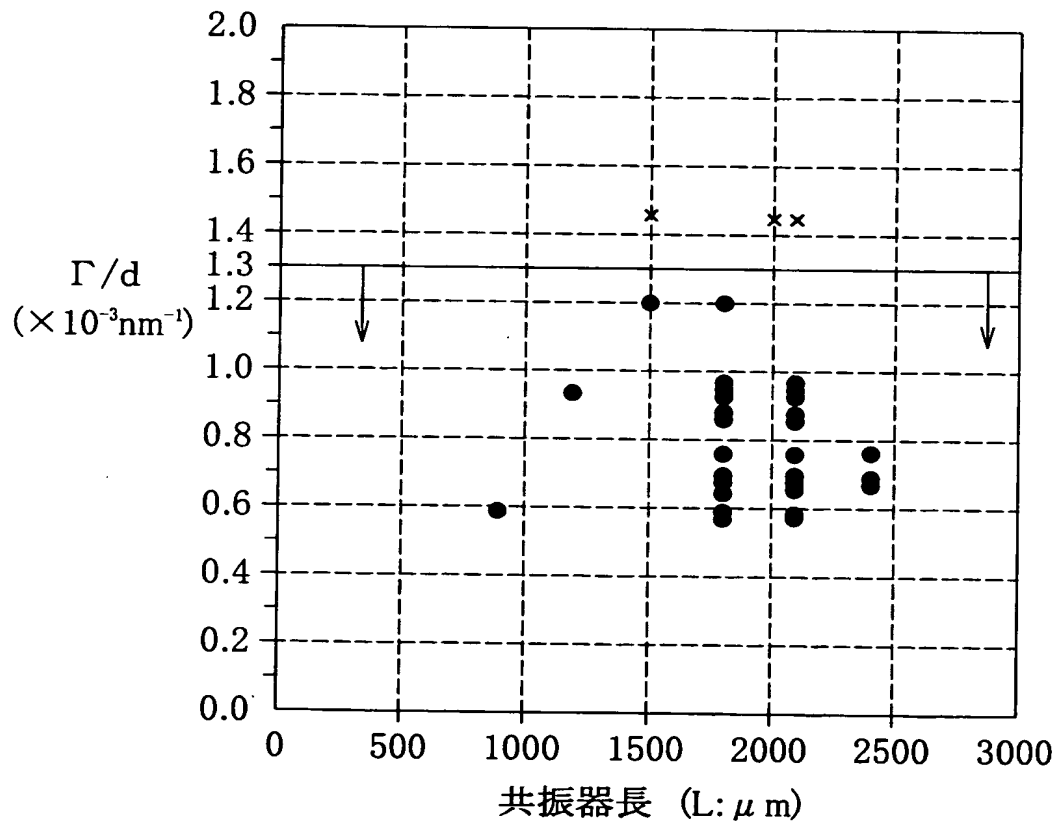
【図 9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 発振レーザ光の発振波長が安定であり、また発振スペクトルがマルチモード化している高出力半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 量子井戸構造から成る活性層 5 を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子であって、戻り光の作用により安定化した波長のレーザ光を発振し、その発振スペクトルがマルチモードであり、井戸層 5 A₁ (5 A₂) 1 個当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層 1 個の厚みを d (nm) としたとき、 Γ と d の間には、次式： $\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{nm}^{-1}$ で示される関係が成立している半導体レーザ素子。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 1 - 3 0 3 4 3 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 8 8 7]

1. 変更年月日 1 9 9 7 年 1 0 月 1 日
[変更理由] 名称変更
住 所 東京都千代田区霞が関三丁目 2 番 5 号
氏 名 三井化学株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 3 年 1 1 月 4 日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区東新橋一丁目 5 番 2 号
氏 名 三井化学株式会社

特願 2 0 0 1 - 3 0 3 4 3 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 9 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

氏 名

古河電気工業株式会社